



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off n l gungsschrift  
⑩ DE 196 20 419 A 1

⑤1 Int. Cl. 6:  
G 01 B 11/00  
G 01 B 11/16  
G 01 P 3/36  
G 01 J 1/00

②1 Aktenz ich n: 196 20 419.4  
②2 Anmeldetag: 21. 5. 96  
④3 Offenlegungstag: 27. 11. 97

DE 196 20 419 A 1

⑦1 Anmelder:  
Dr. Ettemeyer GmbH & Co. Meß- und Prüftechnik,  
89231 Neu-Ulm, DE

⑦4 Vertreter:  
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner, 80801  
München

⑦2 Erfinder:  
Ettemeyer, Andreas, Dr.-Ing., 89231 Neu-Ulm, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 38 19 085 C1  
DE 36 32 336 C2  
DE 27 10 795 B2  
DE 41 05 270 A1  
DE 38 21 734 A1

GB 9 73 466  
EP 01 29 242 A1  
JP 07-0 04 928 A

Meßtechnik. In: Chemie-Ing.-Techn., 43.Jg., 1971,  
S.A1347,A1349;  
ARZT,R., RINGELHAU,H.: Optische Sensoren zur  
berührungslosen und schlupffreien Weg- und  
Geschwindigkeits-Messung an Landfahrzeugen. In:  
F&M Feinwerktechnik & Messtechnik, 86, 1978, 2,  
S.69-71;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur berührungslosen und markierungsfreien Messung von Verschiebungen

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen  
und markierungsfreien Messung von Oberflächen-Verschie-  
bungen, bei dem die zu messende Oberfläche mit einem  
Laserlichtbündel beleuchtet wird, das Bild eines beleuchte-  
ten Punktes mittels einer geeigneten Optik auf einen oder  
mehrere Sensorelemente abgebildet wird, wobei die Lichtin-  
tensität der einzelnen Sensorelemente registriert wird und  
bei einer Veränderung der Absolutheitigkeit des Einzelsen-  
sorelements oder der Absolutheitigkeiten der Sensorele-  
mente oder der relativen Helligkeitsdifferenzen zwischen  
den einzelnen Sensorelementen Laserbeleuchtung und Sen-  
sorelement(e) so mechanisch verfahren werden, daß die  
Ausgangshelligkeitswerte oder -differenzen wieder erreicht  
werden, wobei der mechanische Verfahrensweg von Laserbe-  
leuchtung und Sensorelement(en) ein Maß für die Verschie-  
bung des beobachteten Oberflächenpunktes ist.

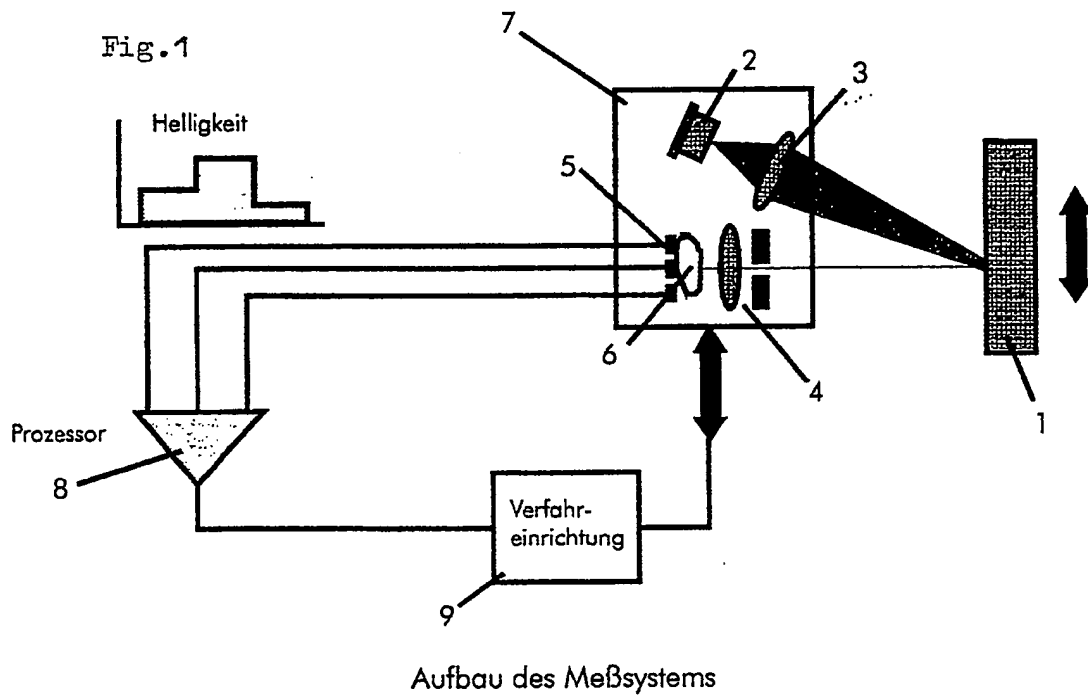
DE 196 20 419 A 1

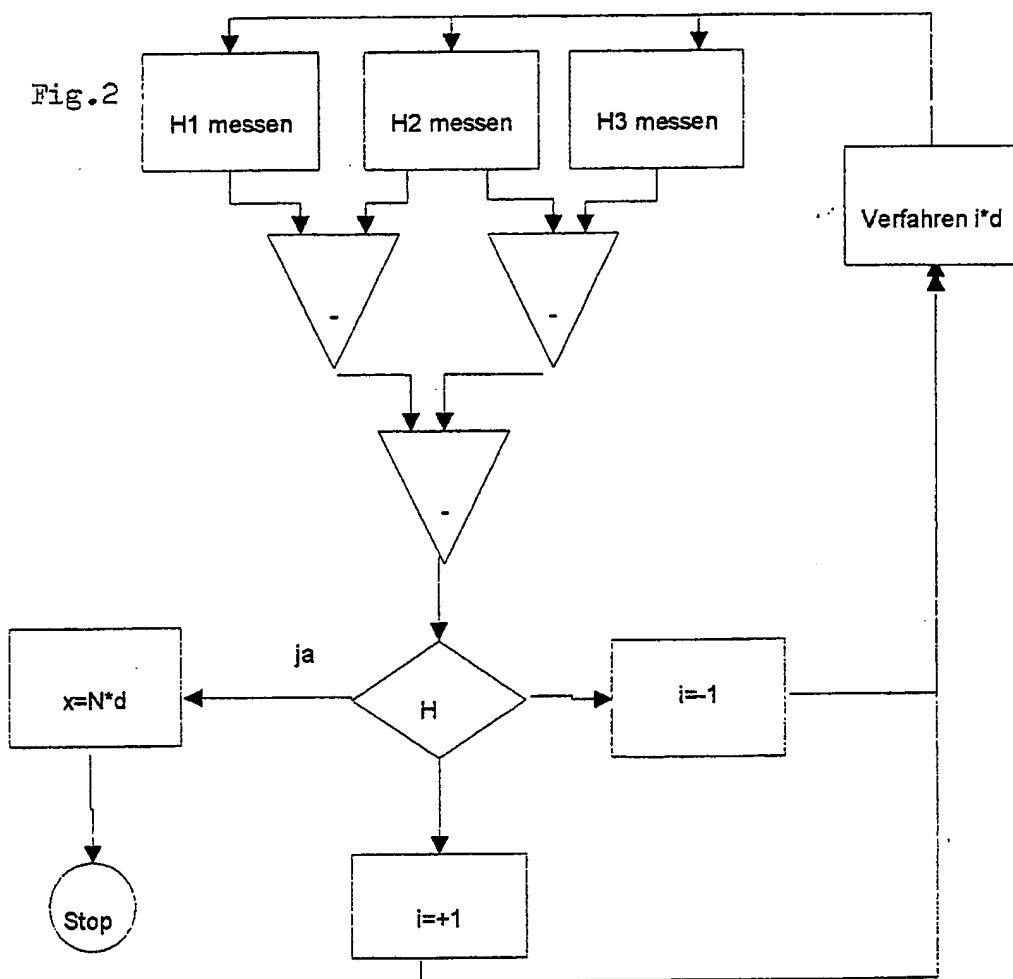
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 97 702 048/136

5/25

BEST AVAILABLE COPY





Ablauf der Messung mit 3 Sensoren (Beispiel)

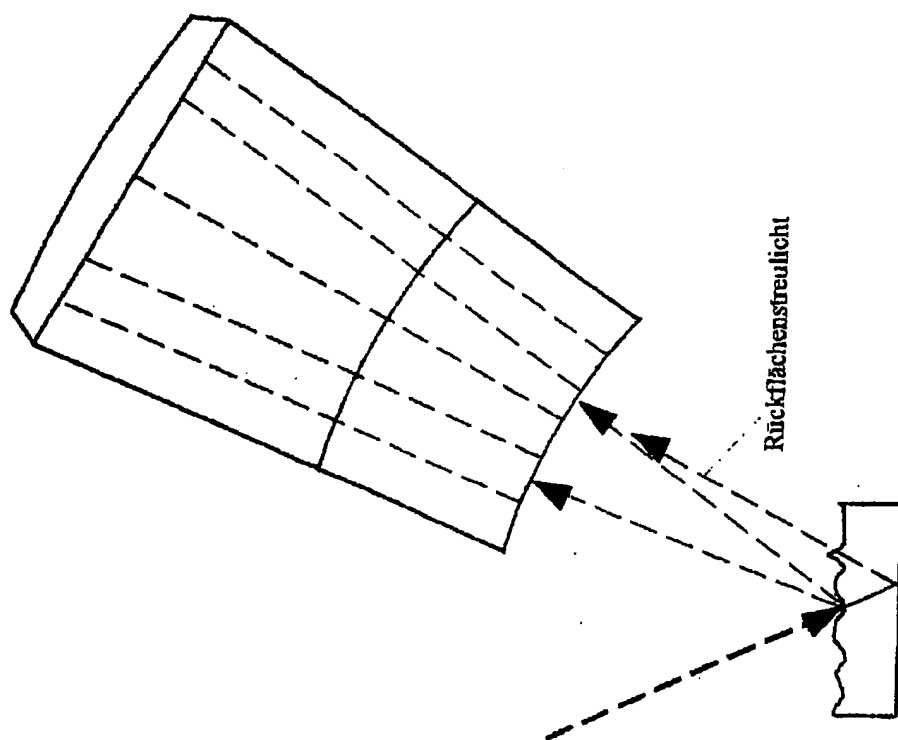


Fig. 3

## Beschreibung

In der Materialprüfung werden für viele Anwendungen mechanische Kennwerte über das statische und dynamische Dehnungsverhalten von Werkstoffen und Bauteilen benötigt. Dazu werden die Verschiebungen zwischen zwei in definiertem Abstand zueinander befindlichen Oberflächenpunkten mit mechanischen oder optischen Aufnehmern gemessen.

Die derzeit zur Verfügung stehenden Meßaufnehmer lassen sich technologisch in zwei Gruppen aufteilen:

1. Punktaufnehmer, die die Bewegung an nur einem oder wenigen Objektpunkten registrieren;
2. Flächenaufnehmer, die die Bewegung auf einer kompletten Fläche erfassen.

Eine für die automatische Prüfung und speziell für empfindliche Werkstoffe geforderte Prüfaufgabe ist die berührungslose Messung ohne das vorherige Aufbringen von Markierungen auf der Probenoberfläche.

Die klassischen Punktsensoren messen mechanisch mittels Ansetzaufnehmern oder optisch durch Verfolgung von auf dem Objekt aufgetragenen Meßmarkierungen.

Neuere Entwicklungen erlauben die flächenhafte, berührungslose und markierungsfreie Messung mittels Speckle-Interferometrie oder mittels Speckle-Korrelationstechniken. Diese Verfahren haben jeweils gemeinsam, daß sie aufgrund der sehr hohen zu verarbeitenden Datenmengen und der Datenerfassung mit Videotechnik relativ langsam sind. Für dynamische Messungen und zur Maschinenregelung können diese Verfahren daher nicht herangezogen werden.

Ziel dieser Erfindung ist es, die berührungslose und markierungsfreie Messung von Verschiebungen nur weniger Punkte mit großer Geschwindigkeit zu ermöglichen.

Bei der Speckle-Korrelationstechnik wird eine Fläche mit Laserlicht beleuchtet und das Bild der Oberfläche mit einer Videokamera aufgenommen. Bei einer Bewegung der Probe verändert sich das Specklemuster. Durch den Vergleich der in beiden Zuständen aufgenommenen Specklemuster und Korrelationsrechnungen kann die Bewegung der Probenoberfläche an jedem Punkt ermittelt werden. Dieser Rechenvorgang ist sehr zeitaufwendig. Um eine ausreichend großen Meßbereich und hohe Empfindlichkeit zu erzielen, muß die Anzahl der aufgenommenen Bildpunkte möglichst groß sein, so daß eine signifikante Geschwindigkeitssteigerung unmöglich ist.

Der Lösungsvorschlag basiert auf dem Speckle-Effekt. Die Oberfläche des Prüflings (1) wird von einem Laser (2) und einer Optik (3) mit Laserlicht beleuchtet und mittels einer Abbildungsoptik (4) auf einem oder mehreren lichtempfindlichen Sensorelementen (5) abgebildet. Im Gegensatz zu den o.g. flächenhaften Meßverfahren Verfahren wird allerdings lediglich ein kleiner Oberflächenbereich betrachtet. Dies bewirkt, daß sich das Specklemuster bei einer Dehnung des Bauteils kaum ändert, sondern im wesentlichen nur mit der Probenoberfläche verschoben wird. Die Abbildungsoptik (4) wird so eingestellt, daß der oder die Sensorelemente (5) möglichst nur einen oder wenige Speckles (6) erfassen. Verschiebt sich die Oberfläche (1), so verschiebt sich mit ihr die Position des Speckles (6) und die Helligkeit an jedem Sensorelement (5) ändert sich. Wenn Laserbeleuchtung, Abbildungsoptik und Sensorelement

(im folgenden als Punktsensor (7) bezeichnet) um den gleichen Betrag mitbewegt werden, ändert sich die Helligkeit an jedem Sensorelement nicht oder nur unwesentlich (so lange, bis sich durch lokale Dehnungen das Specklemuster ändert). Der Betrag, um den der Punktsensor bewegt werden muß ist das Maß für die Verschiebung des betrachteten Objektpunktes.

Die Verschiebevorrichtung des Punktsensors wird somit mittels eines (analogen oder digitalen) Prozessors (8) und einer Verfahreineinrichtung (9) immer so geregelt, daß die Sensorelemente möglichst konstante Helligkeitswerte bzw. konstante Helligkeitsdifferenzen zwischen den Elementen aufweisen.

Im beschriebenen Verfahren wird daher im Gegensatz zur den Specklekorrelationsverfahren nicht die Bewegung der Speckle auf einer Sensormatrix ermittelt, sondern ein Speckle durch mechanisches Nachführen festgehalten. Da nun nur noch ein oder wenige Sensorelemente eingesetzt werden müssen und die Auswertung sowohl digital als auch analog durchgeführt werden kann, kann die Messung wesentlich schneller als die bekannten Verfahren erfolgen und auch für die Maschinenregelung eingesetzt werden.

Falls nur ein Sensorelement eingesetzt wird, kann aus der Helligkeitsänderung nicht die Richtung der Verschiebung erkannt werden. Daher muß in diesem Fall der Punktsensor um das Optimum oszillieren, um auf diese Weise die Speckleposition nicht zu verlieren.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur berührungslosen und markierungsfreien Messung von Oberflächen-Verschiebungen, bei dem die zu messende Oberfläche mit einem Laserlichtbündel beleuchtet wird, das Bild eines beleuchteten Punktes mittels einer geeigneten Optik auf einen oder mehrere Sensorelemente abgebildet wird, wobei die Lichtintensität der einzelnen Sensorelemente registriert wird und bei einer Veränderung der Absoluthelligkeit des Einzelsensorelements oder der Absoluthelligkeiten der Sensorelemente oder der relativen Helligkeitsdifferenzen zwischen den einzelnen Sensorelementen Laserbeleuchtung und Sensorelement(e) so mechanisch verfahren werden, daß die Ausgangshelligkeitswerte oder -differenzen wieder erreicht werden, wobei der mechanische Verfahrensweg von Laserbeleuchtung und Sensorelement(en) ein Maß für die Verschiebung des beobachteten Oberflächenpunktes ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vom Laser beleuchtete Fläche sehr klein ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente in einer CCD-Zeile oder in einer CCD-Matrix angeordnet sind.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensorelement ein Analogsensor verwendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Verschiebung des Sensors das Vorzeichen der Helligkeitsänderung zwischen den einzelnen Sensorelementen verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Nachfahren des Sensors durch ein

piezoelektrisches Element, einen Schrittmotorantrieb oder einen anderen elektrischen Antrieb erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Laserquelle eine Laserdiode verwendet wird 5

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor gleichzeitig in zwei oder drei Raumachsen verschoben wird kann und die Bestimmung des 2- oder 3-achsigen Verschiebektors erlaubt. 10

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Ausbildung der Abbildungsoptik die Speckleform so eingestellt wird, daß sie in einer Vorzugsrichtung kleiner sind als in den anderen Raumrichtungen. 15

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserbeleuchtungs- und Abbildungsoptik so eingestellt werden kann, daß ein Speckle optimal von den Sensorelementen erfaßt wird. 20

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß lediglich ein Sensorelement verwendet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfolgung des Speckles durch schnelles oszillieren des Sensors um den Optimalpunkt erreicht wird. 25

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren des Sensors durch ein mehrstufiges System erfolgt, wobei mindestens eines zur Oszillation, mindestens ein anderes zum Nachführen dient. 30

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehr Punktsensoren an mehreren Punkten angeordnet werden und aus den Relativ-Verschiebungen zwischen den einzelnen Punkten Dehnungen ermittelt werden. 35

15. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, bestehend aus einem Laser mit Kollimatoroptik, einem oder mehreren lichtempfindlichen Sensoren mit Abbildungsoptik, einem Prozessor und einer Nachführvorrichtung, wobei die Nachführvorrichtung mit den lichtempfindlichen Sensorelementen und dem Prozessor einen Regelkreis bilden, der zu konstanten Helligkeitsverteilungen bzw. Helligkeitsdifferenzen auf den Sensoren führt und wobei die Nachführgröße als Maß für die Oberflächenverschiebung verwendet wird. 40 45 50

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den lichtempfindlichen Sensoren um eine CCD-Zeile oder -Matrix handelt. 55

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Punktsensor durch die Nachführvorrichtung in zwei oder mehr Raumachsen verschoben werden kann.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Nachführvorrichtung aus mehr als einem Verfahrelement besteht, wobei eines die größeren Gesamtwegamplituden durchführt und mindestens ein weiteres Element kleinere Weg-Oszillationen durchführt. 60 65